



PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application Of: )  
)  
Mitsuru KIKUCHI, *et al.* ) Examiner: Not Yet Assigned  
)  
Serial No.: 10/629,837 ) Group Art Unit: TBA  
)  
Filed: July 30, 2003 ) Attorney Docket No. 001458.00035

For: SUPERCONDUCTING COIL SYSTEM

**SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Submitted herewith is a certified copy of Japanese Patent Application 2002-253860 filed in Japan on August 30, 2002. This application is the basis for Applicant's claim for priority, which claim was made upon filing of the above-identified patent application on July 30, 2003.

Please charge any fee associated with the filing of this paper to our Deposit Account No. 19-0733.

Respectfully submitted,

BANNER & WITCOFF, LTD.

By: William J. Fisher  
William J. Fisher  
Reg. No. 32,133

Eleventh Floor  
1001 G Street, N.W.  
Washington, D.C. 20001-4597  
(202) 824-3000

Dated: October 24, 2003

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日                      2002年 8月30日  
Date of Application:

出願番号                      特願2002-253860  
Application Number:  
[ST. 10/C]:                      [JP 2002-253860]

出願人                      日本原子力研究所  
Applicant(s):

2003年 8月 7日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号    出証特2003-3063557

【書類名】 特許願

【整理番号】 021901

【提出日】 平成14年 8月30日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01F 6/06

【発明者】

    【住所又は居所】 茨城県那珂郡那珂町大字向山 8 0 1 番地の 1 日本原子力研究所那珂研究所内

    【氏名】 菊池 満

【発明者】

    【住所又は居所】 茨城県ひたちなか市東石川 1 1 8 1 - 5 7

    【氏名】 安藤 俊就

【特許出願人】

    【識別番号】 000004097

    【氏名又は名称】 日本原子力研究所

【代理人】

    【識別番号】 100089705

    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 2 番 1 号 新大手町ビル 2 0 6 区 ユアサハラ法律特許事務所

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 社本 一夫

    【電話番号】 03-3270-6641

【選任した代理人】

    【識別番号】 100076691

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 増井 忠武

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100075270

【弁理士】

【氏名又は名称】 小林 泰

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100080137

【弁理士】

【氏名又は名称】 千葉 昭男

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100096013

【弁理士】

【氏名又は名称】 富田 博行

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100092015

【弁理士】

【氏名又は名称】 桜井 周矩

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 051806

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9706383

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 超伝導コイル・システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 超伝導コイルと常伝導コイルからなる超伝導コイル・システムにおいて、常伝導コイルが、超伝導コイルの導体が常伝導状態に移した時に、超伝導コイル電流を急速に減衰する時定数 ( $L_1/R_1$ ) より大きい電流時定数 ( $L_2/R_2$ ) をもつことを特徴とする超伝導コイル・システム。

【請求項 2】 超伝導コイルと常伝導コイルの電気的結合係数が 50% 以上である、請求項 1 記載の超伝導コイル・システム。

【請求項 3】 超伝導コイルがケーブル・イン・コンジット導体で製作されている、請求項 1 又は 2 に記載の超伝導コイル・システム。

【請求項 4】 常伝導コイルが、銅、アルミニウム等の低抵抗金属の導体から製作されている、請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載の超伝導コイル・システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、超伝導コイル技術および核融合炉技術に関する。

【0002】

【従来の技術】

核融合炉等の大容量の磁場を発生させるための超伝導コイルの超伝導導体には、ケーブル・イン・コンジット (CIC) 導体を使用されている。CIC 導体は約 1mm 径の超伝導素線を多数本束ね、金属の間に挿入された構造である。この導体が常伝導状態に移した時に、その部分でのジュール発熱による温度上昇で導体に損傷を与えないために金属間内に超伝導素線以外の純銅線も一緒に用意されている。図 1 に、従来の純銅線を含む CIC 超伝導導体とコイルの一態様を示す。図 1 において、(a) は、約 200 本の超伝導素線と 3 種類からなる 21 本の純銅線からなるケーブルを金属管に挿入した構造からなる CIC 導体の断面図であり、(b) は、その導体をらせん状の溝加工を施してあるステンレス・スティ

ールのプレートに埋め込んだ巻線部をコイル・ケース内に収めた超伝導コイルの断面図である。

#### 【0 0 0 3】

その純銅線の量は常伝導状態に転移後の超伝導コイル電流の減衰時間に依存し、減衰時間を短くすると発熱量が少なくなり銅量は減少する。また、超伝導コイルに蓄積された磁気エネルギーはコイルの外部に用意した抵抗器で消費される。

#### 【0 0 0 4】

##### 【発明が解決しようとする課題】

C I C 導体をコンパクト化する一つの手段としてコイルの減衰時間を短くし純銅線を低減し、導体の寸法を小さくすることが考えられる。しかし、核融合炉用超伝導コイルのトロイダル磁場コイルではそのコイルの内側に燃料である水素を閉じ込めておく真空容器がある。超伝導コイルの減衰時間を短くすると真空容器に大きな変動磁場が加わり、真空容器内に誘導電流が流れ、その磁場と電流で真空容器に大きな力が発生し、真空容器は損傷を起こしてしまう。

#### 【0 0 0 5】

従って本発明の課題は、核融合炉用超伝導コイル・システムにおいて、プラズマを閉じこめる真空容器の破壊を起こさずC I C 導体の純銅線を低減し、または取り除き、導体のサイズを縮小する方法を提供することにある。

#### 【0 0 0 6】

##### 【課題を解決するための手段】

C I C 超伝導導体には、通電中、常伝導状態に転移したときに、転移した超伝導素線の温度がジュール発熱によりある温度（一般には2 5 0 K）以上に上昇しないようバイパス電流を担うための純銅線が用意されている。このような純銅線の効用を図2に示す。図2において、超伝導素線に流れていた電流は、超伝導素線のある長さにおいて常伝導転移すると、隣り合わせた純銅線にその一部の電流が流れる。これにより、電流の急速減衰中でのジュール発熱による超伝導素線の温度上昇が導体の損傷を起こさない2 5 0 K以下に保つことが出来る。

#### 【0 0 0 7】

従って、純銅線に代わるべき電流をバイパスするものがあれば、純銅線を超伝

導体から取り除くことができる。本発明者らは鋭意研究を行った結果、それは超伝導コイルと電氣的に十分に結合した銅コイルを用意することにより可能となることを発見し本発明を完成させた。

#### 【0008】

本発明の常伝導コイルを含む超伝導コイル・システムの一態様を図3に示す。

図3において、(a)は、純銅線を含まない約200本の超伝導素線からなるCIC導体の断面図であり、(b)は、その導体で巻れた超伝導巻線部と常伝導コイルをケース内に収めたコイルの断面図である。

#### 【0009】

本発明の超伝導コイル・システムは、純銅線を含まずケーブル・イン・コンジット導体で作製された超伝導コイルと、超伝導コイルに流れる電流を誘導によりバイパスするための常伝導コイルとからなる。

#### 【0010】

本発明の超伝導コイル・システムにおいて、常伝導コイルは、超伝導コイルの導体が常伝導状態に転移した時に、超伝導コイル電流を急速に減衰する時定数 ( $L_1/R_1$ ) より大きい電流時定数 ( $L_2/R_2$ ) をもつ。ここで、 $L_1$ と $L_2$ はそれぞれ超伝導コイルと常伝導コイルの自己インダクタンスを示す。 $R_1$ は超伝導コイルの電流を急速に減衰するための抵抗(急速減磁中の抵抗)であり、 $R_2$ は常伝導コイルの抵抗である。かかる常伝導コイルは、銅、アルミニウム等の低抵抗金属の導体から製作することができる。

#### 【0011】

本発明の超伝導コイル・システムは、上で説明した時定数条件を満たすことを必須構成要件とし、超伝導コイルと常伝導コイルの大きさ、システム内での位置等の条件によっては限定されず、図3に示す態様をはじめとして種々の態様を包含する。

#### 【0012】

超伝導素線に流れている電流を急速に減少すると、電氣的に結合している常伝導コイルに誘導電流が流れ、超伝導素線に流れる電流はその分少なく流れる。超伝導コイルの超伝導導体の超伝導素線群に流れる電流と常伝導コイルの導体に流

れる電流の関係は次式で表せる。

【0013】

$$I_1 = A_1 \exp(-(a-b)t) + B_1 \exp(-(a+b)t)$$

$$I_2 = A_2 \exp(-(a-b)t) + B_2 \exp(-(a+b)t)$$

式中、 $I_1$ 、 $I_2$ はそれぞれ超伝導コイルと常伝導コイルの電流を表す。 $t$ は時間、 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $B_1$ 、 $B_2$ 、 $a$ 、 $b$ は超伝導コイルの初期電流、超伝導コイルと常伝導コイルのそれぞれの自己インダクタンス ( $L_1$ 、 $L_2$ )、抵抗、相互インダクタンス ( $M$ ) から決まる定数を示す。

【0014】

図4に計算の一例を示す。

図4において、(a)は、純銅線を含む導体で製作した超伝導コイルに通電している電流をゼロまで急速に減衰させたときの超伝導コイルの電流履歴を示し、(b)は、純銅線を含まない導体で製作した超伝導コイルとそのコイルに電氣的に結合している常伝導コイルがあるときに、超伝導コイルに通電している電流をゼロまで急速に減衰させたときの超伝導コイルの電流と常伝導コイルの電流履歴を示している。常伝導コイルの初期電流はゼロで、時間とともに電流は増加し、ある時間から減少していく。超伝導コイルの電流と常伝導コイルの電流を加えた電流は純銅線を含む元の超伝導導体からなる超伝導コイルの電流変化にほぼ等しくなる。すなわち、真空容器への変動磁場の印加はほぼ同じで、真空容器は損傷されない。

【0015】

常伝導コイルが効果的であるためには超伝導コイルとの電氣的結合が大きいことが必要である。すなわち、結合係数 ( $k = M / (L_1 * L_2)^{0.5}$ ) が0.5 (50%) 以上であることが望ましい。

【0016】

【発明の実施の形態】

(実施例)

図3(b)に、本発明の一態様である常伝導コイルを含む超伝導コイルの断面を示す。超伝導コイルの導体は図3(a)に示すように超伝導素線だけからなる



C I C 導体で、純銅線は含まれない。この導体は純銅線を含む C I C 導体（図 1（a））より面積で 3 分の 2 に減少している。また、その導体をプレートにらせん状に掘られた溝に挿入してなる巻線部も導体断面の減少により小さくなる。その減少した部分に常伝導コイルが用意される。そのコイルの導体は矩形状モノリス銅線からなり、表面を絶縁被覆した後ソレノイド巻きしエポキシ含浸されコイル状になる。両端部は直接接合されそれ自身ループコイルになっている。それを超伝導コイルと共にコイル容器内に格納される。

#### 【0017】

##### 【発明の効果】

1. 純銅線を取り除くことにより超伝導導体サイズが縮小し、導体は高電流密度化し、導体の製作コストが低減する。一般には、C I C 導体の約 3 分の 2 のサイズに縮小する。

#### 【0018】

2. 導体の縮小化により巻線部が減少し、コンパクトなコイルが実現でき、コイルの製作費が低減する。

3. 常伝導コイルを配置することにより、コイルに蓄積した磁気エネルギーの約半分を常伝導コイルで消費することが出来、超伝導コイルの外側に備えてある外部抵抗を半分にすることができる。したがって、その抵抗設備費と設置容積を半減することができる。

#### 【0019】

4. 常伝導コイルは超伝導コイルと異なり熱処理されないので材料選択が広範であり、超伝導コイルの特性に応じて銅・アルミニウム、鉛等、またそれらの複合材料で製作することができる。

#### 【0020】

5. 本発明の超伝導コイル・システムは、核融合炉において特に有用であるが、磁気エネルギー蓄積装置等の他の大型超伝導コイル・システムにおいても有用である。

##### 【図面の簡単な説明】

【図 1】 図 1 は、（a）純銅線を含む C I C 超伝導導体と、（b）その導体

で巻かれた巻線部をコイル・ケース内に収めた超伝導コイルの断面を示す図である。

【図 2】 図 2 は、純銅線の効用を示す概念図である。

【図 3】 図 3 は、（a）純銅線を含まない C I C 超伝導導体と、（b）その導体で巻かれた超伝導巻線部と常伝導コイルとをケース内に収めたコイルの断面を示す図である。

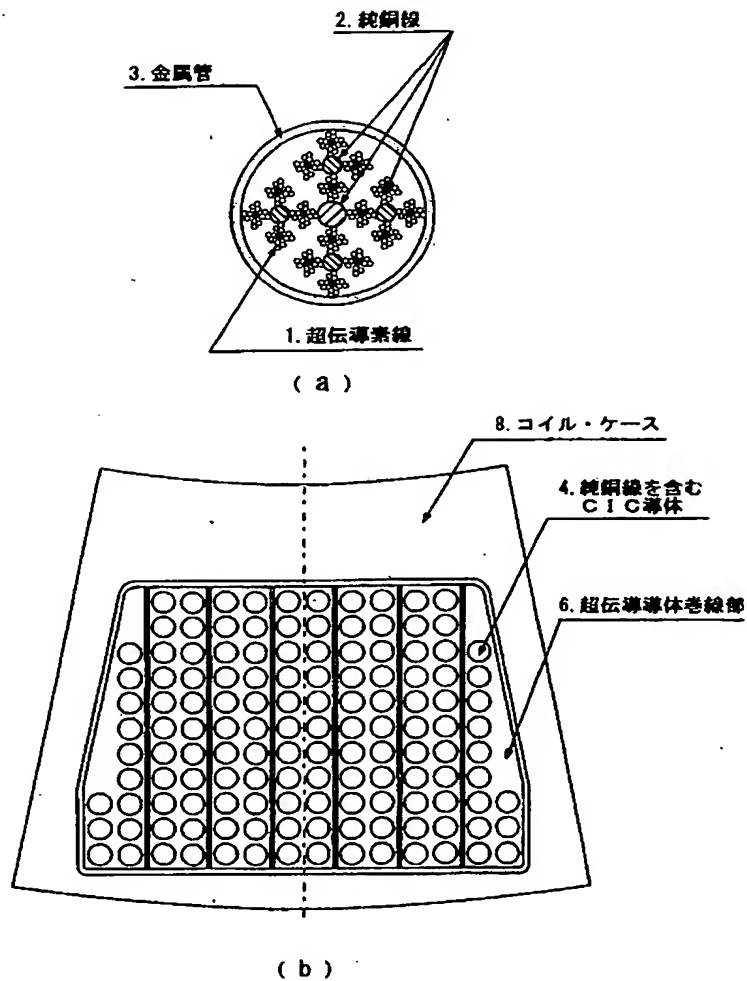
【図 4】 図 4 は、（a）純銅線を含む導体で製作した超伝導コイルに通電している電流をゼロまで急速に減衰させたときの超伝導コイルの電流履歴と、（b）純銅線を含まない導体で製作した超伝導コイルとそのコイルに電氣的に結合している常伝導コイルがあるときに、超伝導コイルに通電している電流をゼロまで急速に減衰させたときの超伝導コイルの電流と常伝導コイルの電流履歴を表す図である。

【符号の説明】

- 1 超伝導素線
- 2 純銅線
- 3 金属管
- 4 超伝導導体
- 5 超伝導導体巻線部
- 6 常伝導コイル
- 7 コイル・ケース

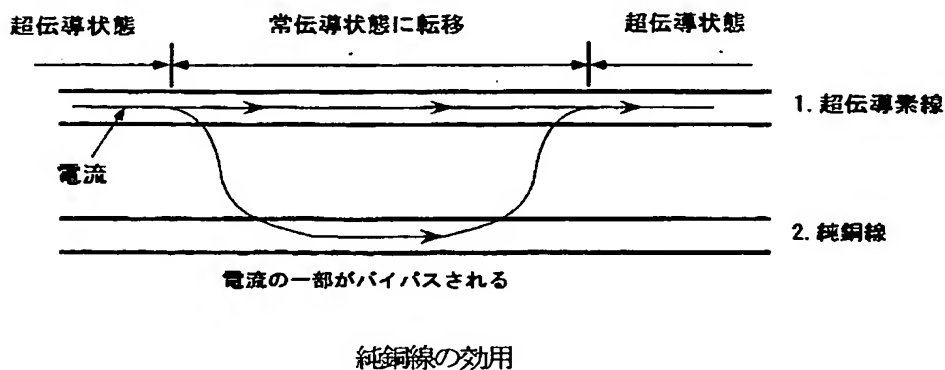
【書類名】 図面

【図 1】

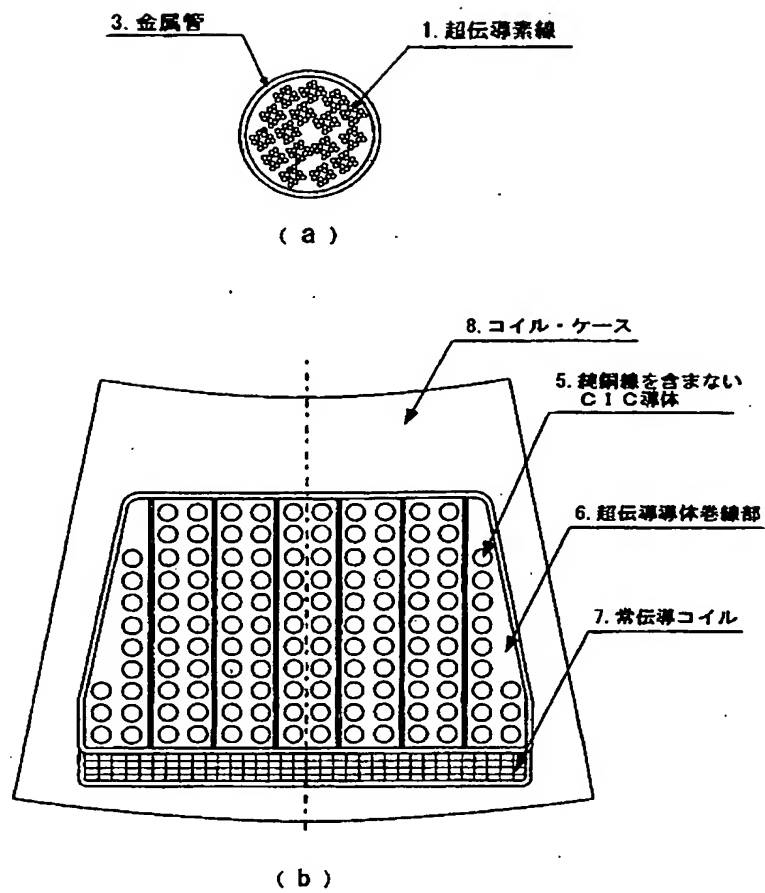


- (a) 純銅線を含むケーブル・イン・コンジット (CIC) 超伝導導体と  
 (b) その導体で巻かれた巻線部をコイル・ケース内に収めた超伝導コイルの断面

【図 2】

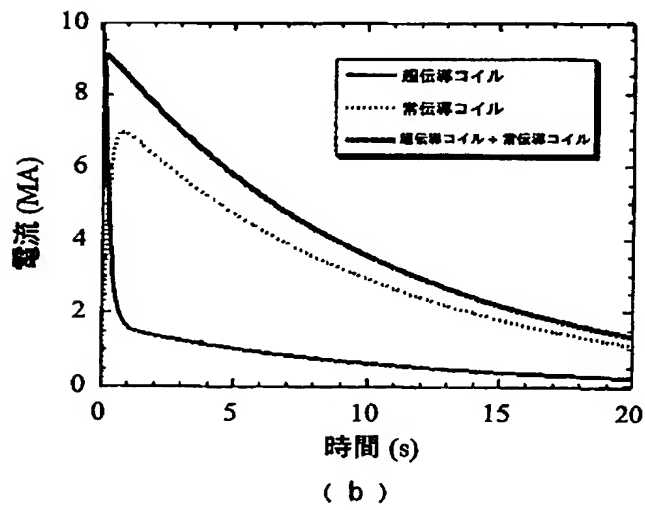
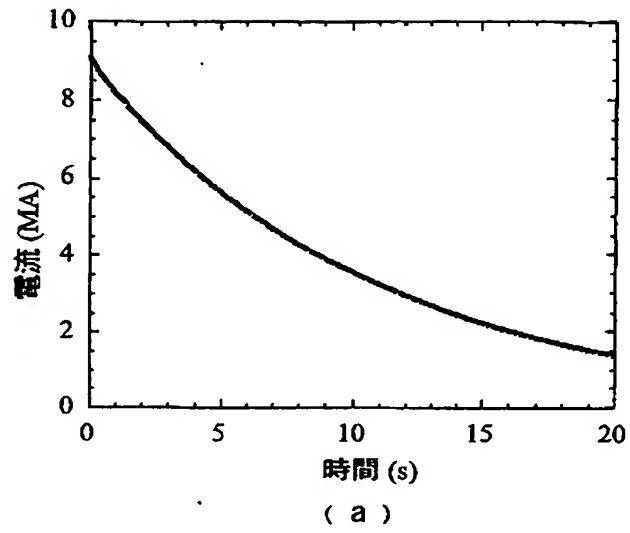


【図 3】



(a) 純銅線を含まない C I C 超伝導導体と、(b) その導体で巻かれた超伝導巻線部と常伝導コイルとをケース内に収めたコイルの断面

【図 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は、核融合炉用超伝導コイル・システムにおいて、プラズマを閉じこめる真空容器の破壊を起こさず C I C 導体の純銅線を低減し、または取り除き、導体のサイズを縮小する方法を提供することを課題とする。

【解決手段】 超伝導コイルと常伝導コイルからなる超伝導コイル・システムにおいて、常伝導コイルが、超伝導コイルの導体が常伝導状態に移した時に、超伝導コイル電流を急速に減衰する時定数 ( $L_1/R_1$ ) より大きい電流時定数 ( $L_2/R_2$ ) をもつことを特徴とする超伝導コイル・システム。

【選択図】 図 3

特願 2 0 0 2 - 2 5 3 8 6 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 4 0 9 7 ]

1 . 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 1 6 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区内幸町 2 丁目 2 番 2 号

氏 名

日本原子力研究所

2 . 変更年月日

2 0 0 3 年 1 月 2 7 日

[変更理由]

住所変更

住 所

千葉県柏市末広町 1 4 番 1 号

氏 名

日本原子力研究所